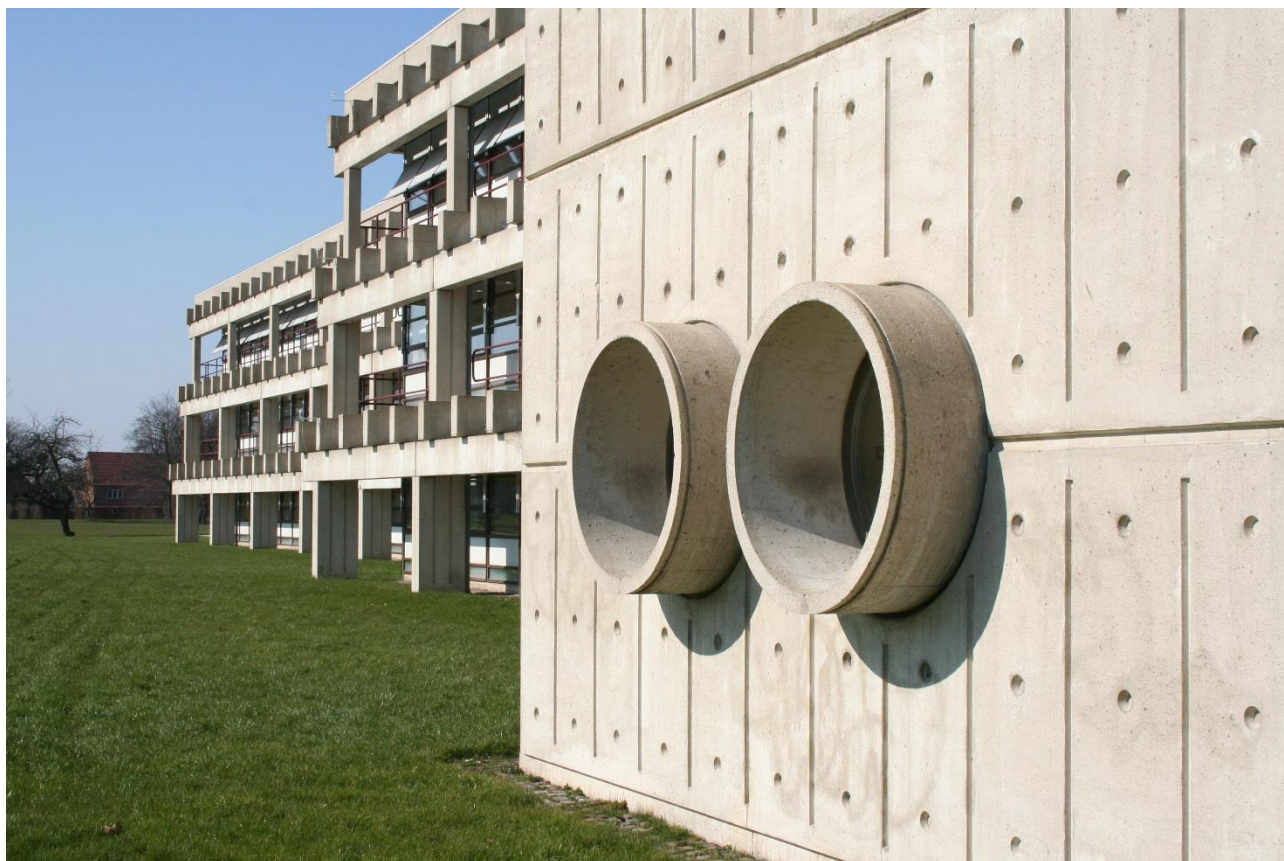


1.3 Arkitektur

Af Thomas Juul Andersen, Teknologisk Institut



Figur 1. Betonarkitektur.

Gennem det 20. århundrede har beton udviklet sig til at blive verdens mest anvendte byggemateriale. Opfindelsen af den armerede beton skabte en ny arkitektur, som ikke var underlagt den traditionelle adskillelse mellem det bærende og det bårne i arkitekturen.

Beton har en række unikke egenskaber, der adskiller den fra andre byggematerialer. Frisk (nyblandet) beton er plastisk og kan formgives til en hver tænkelig geometri som fastholdes, når betonen hærder. Den hærdnede beton har ens egenskaber i alle retninger (isotropisk). Beton kan indtage alle tænkelige overfladestrukturer og farvenuancer, hvorfor betonen også kaldes materialet med de mange ansigter.

Netop dét er måske også betonens ulempe – med så mange muligheder synes flere at være draget af, at beton kan bringes til at ligne andre byggematerialer som eksempelvis tegl og natursten.

Hvad er så betonens eget udtryk? En del af svaret herpå ligger i de mange vellykkede eksempler fra betonarkitekturen, som alle har det til fælles, at de fanger betonens æstetiske egenart med udgangspunkt i materialets egne spilleregler som følge af materialesammensætning, støbemetode, konstruktion mv.

I dette afsnit om arkitektur gennemgås udviklingen indenfor anvendelsen af beton i arkitekturen. Hvilke tendenser der har tegnet betonen gennem arkitekturhistorien, samt hvilke muligheder der findes, for at skabe ny arkitektur med udgangspunkt i betonens egne præmisser.

1.3.1 Beton i arkitekturen

Arkitekturhistorien – og denne artikel – indeholder mange eksempler på, hvordan betonens muligheder har været anvendt til at skabe en arkitektur, som med rette kan kaldes betonarkitektur. Der findes ikke nogen klar definition på begrebet betonarkitektur, men her anvendes det om arkitekturværker, hvor beton er anvendt som et dominerende, synligt materiale i facaden eller hvor betonen er skjult, men udtrykker sig klart gennem bygningens formsprog.

Artiklen tager udgangspunkt i den historiske anvendelse af beton og de tilhørende fællestræk. Således følger gennemgangen ikke nødvendigvis den kronologiske arkitekturhistorie, men går i nogle tilfælde på tværs af arkitekturhistoriens epoker. De overordnede tendenser betragtes ud fra den globale udvikling, der drages paralleller til den danske udvikling og sættes fokus på eksempler herfra.

1.3.1.1 Nyt materiale – nye muligheder

Sammen med stål og glas hører beton til de moderne byggematerialer. Dette til trods for, at der tidligt i historien blev eksperimenteret med betonlignende materialer, eksempelvis i romertiden hvor der blev opført en række spektakulære konstruktioner i beton.

Efter romertiden gik udviklingen og anvendelsen af beton i stå, og først mange århundreder senere markerer opfindelsen af portlandcementen i begyndelsen af 1800-tallet – samt opfindelsen af den jernarmerede beton i slutningen af 1800-tallet – genembruddet for den betonanvendelse vi kender i dag. Det var især entreprenøren Francois Hennebique der for alvor udbredte kendskabet til jernbetonen, da han i Frankrig i 1890'erne tog patent på et byggesystem til jernbetonhuse – et system som i eftertiden blev anvendt flere steder primært i Europa, men også andre steder i verden.

En af de første anvendelser af jernbeton i Danmark finder sted i forbindelse med etageadskillelserne i Statens Museum for Kunst i 1891.

Især den monolitiske virkemåde i en betonkonstruktion var med til at ophæve den traditionelle adskillelse mellem det bærende og det bårne i arkitekturen. Materialets indre egenskaber kunne tilpasses anvendelsen, og det kunne formes til blokke, skiver,

skaller, hvælv og skeletkonstruktioner – samt danne lange udkragninger. Betonen gav dermed muligheder for en ny arkitektur.

Auguste Perret var den første arkitekt som så muligheder i betonens arkitektoniske kvaliteter. Han fandt det visuelle udtryk af materialet lige så vigtigt som udtrykket af det konstruktive system, og han eksperimenterede med at give betonen en overflade af samme karakter som natursten. Dermed søgte han at give betonen samme arkitektoniske værdi som de klassiske materialer.

1.3.1.2 Moderne hvide huse i jernbeton

I begyndelsen af 1900-tallet blev beton blandt arkitekter generelt betragtet som et trist og udtryksløst materiale med mangel på symbolværdi og kultur, og det blev derfor primært anvendt til konstruktioner, som efterfølgende blev pakket ind i nogle af de mere klassiske byggematerialer.

I 1920'erne sker der imidlertid et skifte i arkitekturhistorien, som giver betonen en afgørende hovedrolle og sit helt eget arkitektoniske formsprog. I et forsøg på at frigøre sig fra fortidens stilarter skulle arkitekturen nu først og fremmest være funktionel, hvormed alt som ikke tjente bygningens formål skulle fjernes. Den nye stil blev døbt funktionalismen – også kendt som modernismen. Arkitekturen var især kendetegnet ved de rene, oftest hvidmalede facader, hvorfor funktionalismen også blev kaldet "den hvide stil".

Det blev især den fransk-schweiziske arkitekt Le Corbusier der tog betonen til sig og gjorde den til en integreret del af funktionalismen. På grundlag af den armerede betons muligheder, opstillede han i 1926 de 5 berømte punkter, der skulle give den fuldkomne frihed til at realisere den nye arkitektur:

1. *Les pilotis* – bygningen løftes på søjler op over jorden og frigør byggegrunden
2. *Le toit jardin* – tagterassen, hvor byggegrunden genfindes på taget
3. *Le plan libre* – den fri plan med vægge uafhængige af bærende søjler
4. *La facade libre* – den fri facade uafhængig af bærende søjler
5. *Fenêtre en longueur* – det lange, horisontale vindue.



Figur 2. Villa Savoye i Paris fra 1929 af arkitekten Le Corbusier. Et af funktionalismens hovedværker som eksemplificerer Le Corbusiers 5 berømte punkter om ny arkitektur.

Funktionalismen skulle vise sig at sejre i de nordiske lande på en måde, man ikke så andre steder i verden. Blandt andet fordi funktionalismens lidt maskinelle arkitektur blev fortolket mere menneskeligt i Norden og samtidig tilsat et islæt af lokale træk.

I Danmark var det især arkitekter som Mogens Lassen, Vilhelm Lauritzen og Arne Jacobsen, der havde succes med den nye stil. Blandt andet står Arne Jacobsens boligbebyggelse Bellavista og Bellevue Teatret ved Strandvejen i Klampenborg som hovedværker – helt i ånd med tidens idealer om kubiske bygningskroppe og rene, hvide flader. Byggeriets internationale tilsnit gjorde, at Arne Jacobsen blev sammenlignet med nogle af tidens mest beundrede funktionalisme-arkitekter.

Mens Arne Jacobsen mest var inspireret af den tyske arkitekt Walter Gropius – og senere den tyske arkitekt Ludwig Mies van der Rohe – var Mogens Lassen formentlig den arkitekt i Danmark, der bedst overførte principperne fra Le Corbusiers moderne villaer til en nordisk fortolkning. Dette ses blandt andet i en række villaer, som blev opført i 1930'erne, heriblandt hans eget hus på Sølystvej i Klampenborg samt Villa Bakkedal i Hellerup.



Figur 3. Eksempel på dansk funktionalisme. Villa Bakkedal fra 1934 af den danske arkitekt Mogens Lassen.

Selvom den hvidmalede betonoverflade blev tilstræbt som ideal i perioden frem til 2. verdenskrig, blev nogle af byggerierne i perioden opført i tegl, for derefter at blive pudset op med mørtel og malet hvide. Andre gange blev betonen anvendt som rammekonstruktioner med udfyldning af tegl – igen pudset og hvidmalet. Og så var der selvfølgelig byggerier, hvor den hvidmalede beton anvendtes hovedmaterialet – med det mest ærlige udtryk som resultat.

1.3.1.3 Brutale betonkonstruktioner

I perioden efter 2. verdenskrig opstod et mere udpræget krav om ægthed i arkitekturen.

For betonen blev denne periode meget afgørende. Ikke kun konstruktionerne skulle træde tydeligt frem – også selve overfladerne skulle udvise en ærlighed overfor materialets udtryk, frembragt i en mere og mere industrialiseret proces. Igen var især Le Corbusier en af pionererne, der inspirerede til at anvende betonen på en ny måde.

Hvor betonen før krigen skulle være fin, ensartet og hvidmalet, skulle betonen nu signalere styrke og råhed ved blandt andet at lade overfladerne stå grå og ubehandlede. Således blev betonoverfladerne skabt ved at støbe mod ru, uhøvlede brædder. Det skabte rå betonoverflader, hvor bræddernes grove tekstur kunne aflæses i betonens overflade. Byggerierne i denne periode var med til at lægge navn til brutalismen.

I Danmark var det især arkitekterne Knud Friis og Elmar Moltke, der tog den nye anvendelse af betonen til sig, og udviklede en lokal dansk udgave af brutalismen. I 1966 blev det næsten chokerende brutale betonbyggeri Hotel Lakolk opført på Rømø – et byggeri der skulle bane vejen for en lang række byggerier af Friis og Moltke i årene efter, hvor de anvendte betonen rå og ubehandlet.



Figur 4. Entreprenørhøjskolen i Ebeltoft fra 1968 er et af arkitekterne Friis og Moltkes hovedværker. Et firlænget anlæg helt af beton og med græs på taget, der som en grå monolit vokser ud af stedet.

Også de produktive arkitekter Gehrdt Bornebusch, Max Brüel og Jørgen Selchau lader sig inspirere af den rå beton. Her er Holbæk Seminarium, opført i 1967, et for den tid pragteksempel på et brutalistisk byggeri, hvor de pladsstøbte betonkroppe med rå og ubehandlede overflader står i stor harmoni med stedet, hvor det grønne har fået lov til at vokse op ad facaderne og dermed sløre skellet mellem landskab og bygning.



Figur 5. Dansk Brutalisme eksemplificeret gennem Holbæk Seminarium fra 1967.

Brutalismen når måske sit højdepunkt med Vikingskibshallen i Roskilde fra 1968, tegnet af arkitekten Erik Christian Sørensen. Her er det ikke den monolitiske virkning – men derimod de kraftfulde betonkonstruktioner der skaber et brutalt og ærligt udtryk både i interiøret og eksteriøret helt i tråd med tidens ideal.



Figur 6. Brutalistisk sammenstilling af konstruktioner der udgør Vikingskibshallen i Roskilde.

1.3.1.4 Ingeniørmæssige bedrifter

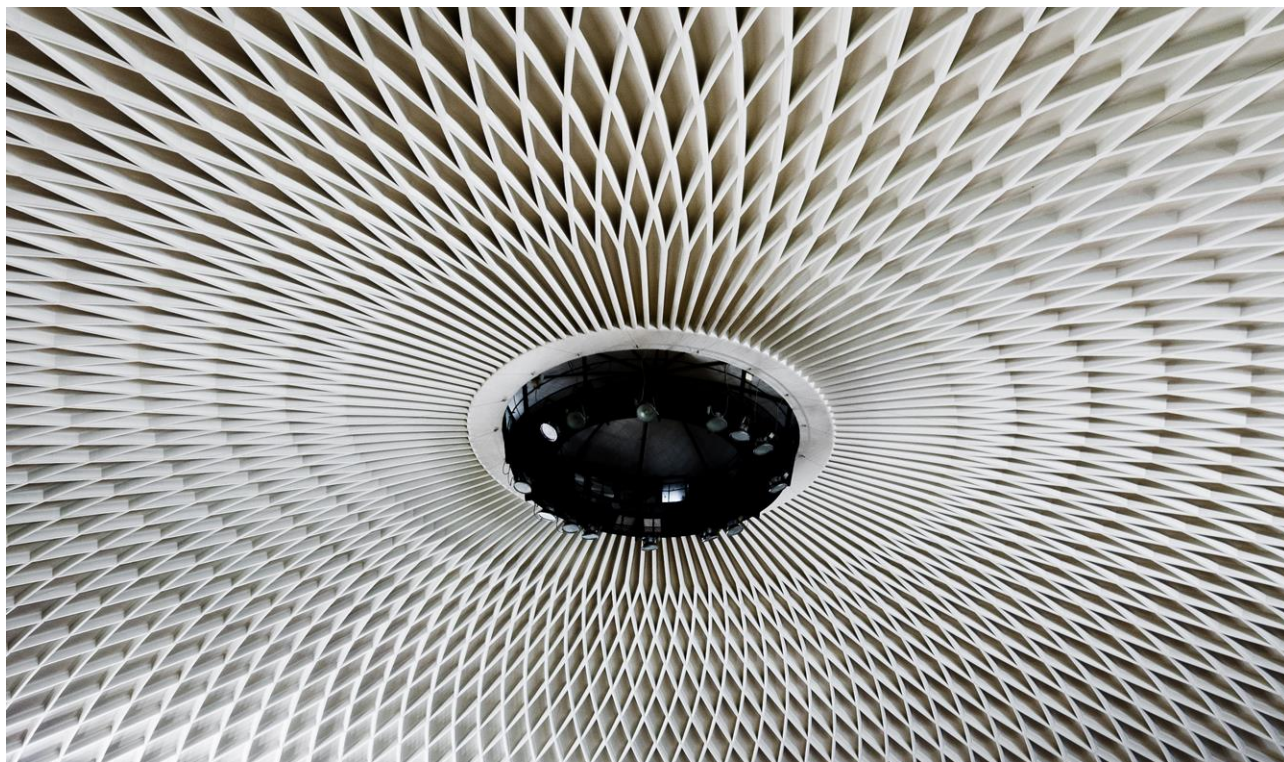
I tiden midt i 1900-tallet var der stor interesse for at undersøge jernbetonens konstruktionsmæssige potentiale til at lave store spænd. Det førte til en række eksperimenter, hvor ingeniører og arkitekter afprøvede mulighederne gennem en række imponerende bygværker, hvor det var konstruktionens udformning og formsprog, der var dominerende.

Den schweiziske ingeniør Robert Maillart projekterede en række betonbroer, som på flere måder var skelsættende indenfor brobygningskunsten. Han var den første til at bryde med stenbroernes rodfæstede traditioner, og formgav i stedet en række betonbroer i overensstemmelse med kræfternes forløb og betonens konstruktive egenskaber. Et højdepunkt når han med Salginatobelbrücke ved Schiers i Schweiz i 1930. Maillarts broer fik stor indflydelse på arkitekternes forståelse af den armerede betons konstruktive og æstetiske muligheder i funktionalismen.



Figur 7. Elegant udformning af brokonstruktion i form af Salginatobelbrücke i Schweiz.

Betonens egenskaber blev udover til brokonstruktioner også anvendt til at bygge tagkonstruktioner med store spænd. Den italienske ingeniør Pier Luigi Nervi var en af pionererne, der formåede at kombinere klar logik med æstetisk følsomhed. Således opførte han en række udstillings- og sportshaller opbygget af imponerende konstruktioner i beton. Mest kendt er nok sportshallen Palazzetto dello Sport, der blev bygget til sommerolympiaden i Rom i 1960. Hallens kuppel, der er 61 meter i diameter, består af over 1500 præfabrikerede betonelementer, der tilsammen udgør en imponerende ribbekonstruktion.



Figur 8. Loftkonstruktionen i Palazzetto dello Sport fra 1960.

Betonens muligheder for at indgå i konstruktioner, hvor en materialebesparende tilgang skaber lette, æstetiske konstruktioner, blev også afprøvet gennem tynde skalkonstruktioner. Her var det især den spanske arkitekt Felix Candela som viste mulighederne gennem en række bygværker, hvor betonens lave tykkelse gav minder om karton foldet til imponerende skalkonstruktioner.

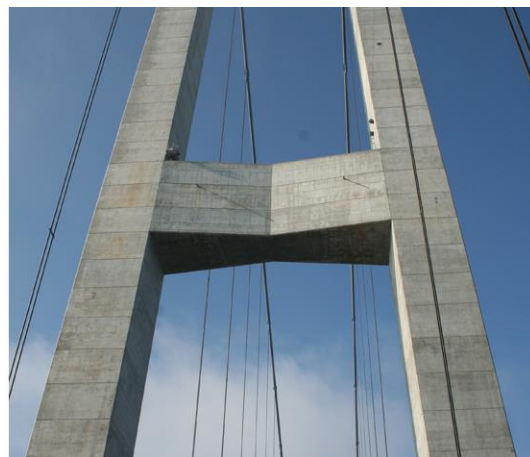
I Danmark blev betonens statiske potentiale også udforsket. Det gav sig blandt andet udtryk i forbindelse med bølgetaget i ankomsthallen i Københavns Lufthavn fra 1938 samt den dobbeltkrumme skalkonstruktion i Radiohusets Koncertsal fra 1945 – begge af den danske arkitekt Vilhelm Lauritzen.

Det var i forbindelse med brobygning, at de store betonkonstruktioner blev synlige i Danmark. Det var især opfindelsen af spændbeton, der fik en stor betydning for betonens rolle i dansk brobyggeri. Før 2. verdenskrig var de fleste broer i Danmark opført som stålbroer, men efter krigen blev broerne i stedet opført som betonbroer, der blev for- eller efterspændt med kabler gennem betonen. Teknikken blev blandt andet anvendt i forbindelse med opførelsen af en række smukke betonbroer, heriblandt Svendborgsundsbroen, Vejlefjordbroen, Allsundsbroen og Sallingsundsbroen.

I nyere tid anvendes beton fortsat i forbindelse med store brokonstruktioner i Danmark. Således udgør Storebæltsbroen og Øresundsbroen to brokonstruktioner i international klasse. Storebæltsbroen, der er tegnet af det danske arkitektfirma Dissing og Weitling, stod i 1998 færdig efter 7 års byggeri. Broens østlige del består af en knap 7 km lang

hængebro, hvor de kraftige pyloner i beton udgør et imponerende fikspunkt midt ude i Storebælt. Broen er en fornem demonstration af, hvordan et betonbyggeri på samme tid både kan være kraftfuldt og elegant.

Bare to år efter Storebæltsbroen stod færdig blev Sverige og Danmark forbundet over Øresund. Den østlige del af øresundsforbindelsen udgøres af en højbro, hvor 4 næsten 200 meter høje pyloner udgør 4 majestætiske tårne midt ude i Øresund. De slanke betonpyloners dimensioner mindskes på vejen fra havoverfladen til toppen og står nærmest som 4 monumentale obelisker.



Figur 9. Kraftfulde betonkonstruktioner i forbindelse med Storebæltsbroen.

1.3.1.5 Skulpturel og ekspressiv beton

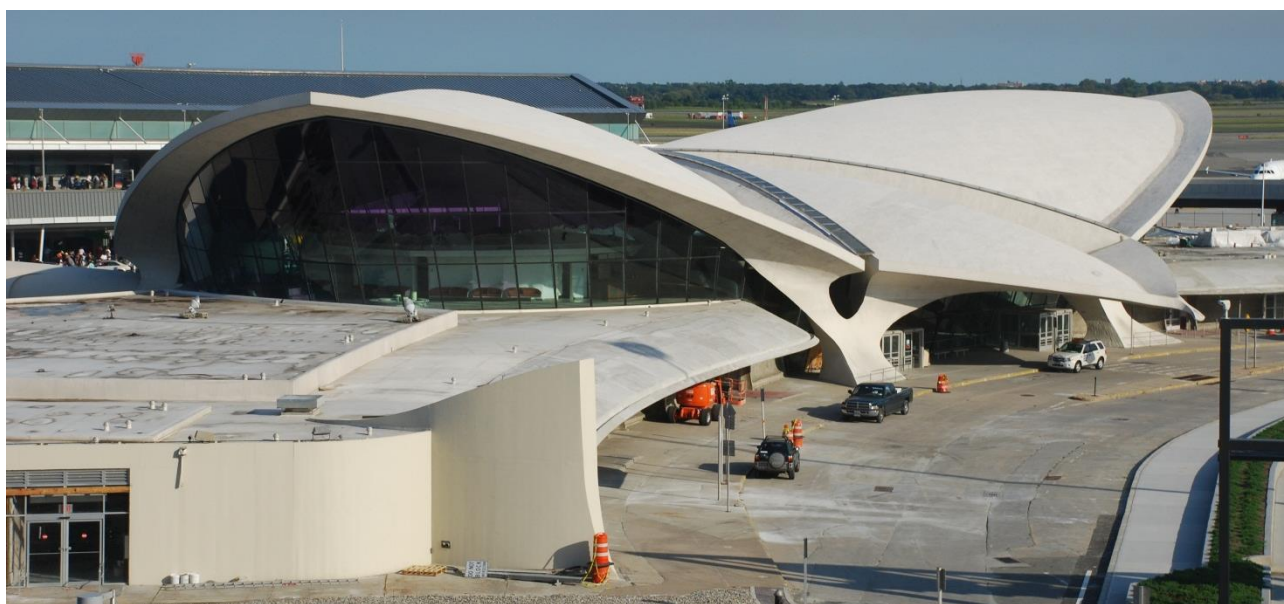
Sideløbende med udforskningen af betonens statiske egenskaber til at skabe store, elegante spænd, var der også en række arkitekter som havde hovedfokus på betonens frie formbarhed. De så således betonen som det materiale, der kunne materialisere tanker om frit formet arkitektur – ofte inspireret af naturens former. Det førte til en ny arkitektur, hvor betonens skulpturelle og ekspressive virkning ofte blev et ikonisk hovedmotiv i værkerne.

Allerede tidligt i historien eksperimenterer Antonio Gaudi med en individuelt formet arkitektur. Også Erich Mendelsohn søger at forme arkitekturen frit ved anvendelse af især beton. Et af hans kendte værker er Einsteinturm i Potsdam fra 1921.

Senere blev der opført en række bygninger i USA, som senere gik hen og blev nogle af arkitekturens betydningsfulde hovedværker. Blandt disse er to værker af den amerikanske arkitekt Frank Lloyd Wright. Det ene er sommerboligen "Falling Water House" fra 1939, hvor skulpturelle terrasser af beton er forankret i klipperne og krænger udover et vandfald. Det andet er Guggenheim Museum i New York fra 1959, hvor en spiralformet rampe af beton danner en form som et sneglehus. I USA opførte også den finsk-amerikanske arkitekt Eero Saarinen den ekspressionistiske TWA-terminal i Kennedy Airport i 1962, hvor den organiske spændbetonkonstruktion giver mindelser om vingerne på en fugl.



Figur 10. Solomon R. Guggenheim Museum fra 1959 af arkitekten Frank Lloyd Wright. Bygningen er et hovedværk i amerikansk arkitektur.



Figur 11. TWA-terminalen i Kennedy Airport fra 1962 af arkitekten Eero Saarinen. Bygningen er et eksempel på ekspressiv og skulpturel anvendelse af betonkonstruktioner i arkitekturen.

Også Le Corbusier, som igennem hele sit arkitekturvirke har påvirket betonens arkitektoniske udvikling, satte sit præg på muligheder for en friere udformning af betonkonstruktioner. Det gav sig især til udtryk gennem kirken Notre-Dame-du-Haut i Ronchamp fra 1955, der fremstår som en stor betonskulptur, hvor især det store, ekspressive tag i beton udgør et vigtigt element. Le Corbusier udforskede også betonens formbarhed gennem flere værker i det storstilede projekt Chandigarh – en ny by i Indien som blev opført i 1950'erne.



Figur 12. Notre-Dame-du-Haut i Ronchamp fra 1955 af arkitekten Le Corbusier.

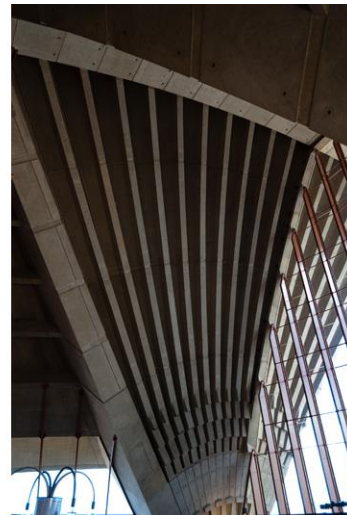
En af Le Corbusiers store beundrere var den Brasilianske arkitekt Oscar Niemeyer, der også blev arkitekt på et storstilet byplansprojekt: Brasiliens nye hovedstad Brasilia – bygget fra 1956 til 1960. Her fik Niemeyer mulighed for at opføre en række bygninger, der med frit formede betonkonstruktioner udgør en betydelig del af Brasalias arkitektoniske fremtoning.

Den danske arkitekt, der har haft størst betydning for udviklingen af den danske betonarkitektur, er Jørn Utzon (1918-2008). I flere af hans værker har han udfordret betonens potentiale og dermed skabt en helt unik betonarkitektur. Hans ubestridte hovedværk, og samtidig verdens mest berømt bygning i nyere arkitekturhistorie, er Sydney Opera House.

Selvom Sydney Operaen er opført lang fra de nordiske himmelstrøg, er inspirationen blandt andet hentet fra Kronborg i Helsingør, hvis placering er at sammenligne med operahusets placering Sydney.

Som bekendt var Utzon ikke med til hele byggeriet, men de store betonkonstruktioner nåede de heldigvis at blive opført under hans ledelse, inden han i 1966 blev presset til at forlade byggeriet. Her er især husets store, ekspressive skaller et betonmesterværk i sig selv. De er udformet som udsnit af en kugleskal, og de indvendige overflader danner en ribbestruktur, inspireret af palmeblade, der står med ubehandlede betonoverflader.

Konstruktivt er skallerne opbygget af dobbeltkurvede ribbeelementer i beton, hvoraf flere af elementerne udgør store serier af ens elementer. De er efterfølgende efterspændt med kabler i den insitustøbte base. Yderst er skallerne pålagt glaserede klinker.



Figur 13. Sydney Opera House fra 1973 af den danske arkitekt Jørn Utzon. Opera huset er et berømt symbol på en by – vel kun overgået af en anden berømt konstruktion – Eiffel tårnet i Paris

Hvis Operahuset i Sydney blev Utzons udenlandske hovedværk, blev kirken i Bagsværd fra 1976 hans hovedværk i Danmark. En bygning, der på afstand kan minde lidt om et industrianlæg, men ved nærmere eftersyn åbner der sig en helt anden oplevelse, der kulminerer inde i det magiske kirkerum.

Kirken er opført af præfabrikerede betonrammer i varierende højde, der er opført i grå beton og med udfyldning af facadeelementer i hvid beton. Indvendig fremstår bygningen primært i hvidmalede betonoverflader, der når sit højdepunkt med det buede betonloft, der med sine bølgende former nænsomt lader lyset falde blødt ind i kirkerummet. Loftkonstruktionen, der spænder 17 meter, er blot 10 cm tyk og sprøjtestøbt mod en forskalling af rå brædder, hvis struktur kan aflæses på tværs af konstruktionen.



Figur 14. Bagsværd kirke fra 1976 af arkitekten Jørn Utzon. Utzons danske hovedværk, hvor det buede kirkeloft i beton udgør et magisk himmelhvælv.

1.3.1.6 Strukturelle betonelementer

Industrialiseringen af byggeriet satte for alvor ind i Europa i slutningen af 1950'erne. Som en løsning på den akutte boligmangel, der herskede i det meste af Europa - herunder også i Danmark, blev der indført masseproduktion af byggekomponenter. Dette medførte et krav om modulprojektering og standardisering af byggematerialerne. Presset fra produktionssiden betød, at de arkitekturideologier, der gik ind for ensartethed og rationalitet i både form og produktion, havde en klar fordel frem for andre herskende ideologier.

Etagehuset blev den foretrukne boligform, primært af byggerationelle hensyn. 1960'erne og 1970'erne blev således i store dele af Europa præget af meget store industrielt producerede boligbebyggelser bestående af systematisk udlagte blokke. Områderne, der blev placeret i de store byers forstæder, blev senere genstand for sociale problemer, da boligmarkedet igen vendte, idet de endte som opsamlingssteder for samfundets svagest stillede.

Betonelementet spillede en afgørende rolle i opførelsen af de mange boligblokke. De gamle murede konstruktionsprincipper med bærende facader og bærende hovedskille vægge i bygningens midte blev afløst af bærende betonelementskille vægge placeret på tværs af bygningens længderetning og uden bærende facader i bygningens længderetning. Arkitekturen bar tydeligt præg af, at de præfabrikerede betonelementer uden synlig forskel både kunne anvendes som bærende eller udfyldende, og der opstod derfor ofte en meget ensformig, repeterende arkitektur.

I 1970'erne havde kritikken af de store boligområder vokset sig stærk. Beton(elementerne) fik en del af skylden og begrebet betonslum opstod. I 1980'erne blev flere af byggerierne dekoreret og malet i sprælske farver, og de synlige

betonelementer forsvandt langsomt ud af byggeriet. Produktionen af betonelementer fortsatte dog ufortrødent, og langt de fleste bygninger opføres stadig med betonelementer – men elementerne anvendes primært som råhus uden æstetiske overvejelser, og pakkes ind i isolering og andre facadematerialer - primært glas og tegl.

Trods den uheldige rolle, som betonelementet havde fået, var der flere arkitekter som formåede at frembringe stor arkitektur med betonelementer. I Danmark blev et af højdepunkterne med brugen af betonelementer til etageboliger, boligbebyggelsen Høje Gladsaxe fra 1968, tegnet af arkitekterne Povl Ernst Hoff og Bennet Windinge. Her udgør de fem 16-etagers boligblokke et markant fikspunkt i landskabet omkring København. Bebyggelserne blev opført fuldstændig i tidens ånd med faste moduler og standardiserede betonelementer.

Som et modsvar til de mange høje boligblokke, tegnede Fællestegnестuen samme år Albertslund Syd, der også var opført med standardiserede betonelementer – men kun i én etage, hvormed der opstod en tæt, lav by. Bebyggelsen var med til at inspirere til opførelsen af andre tæt-lav bebyggelser, heriblandt Galgebakken fra 1974.



Figur 15. Galgebakken fra 1974 af J.P.Storgård & J. Ørum-Nielsen, Hanne Marchussen og Anne Ørum-Nielsen. De rødlige betonelementer med fritlagte overflader udgør et væsentligt udtryk i arkitekturen.

Et af tidens mest ambitiøse byggerier var Herlev Hospital fra 1976. Byggeriet, som blev tegnet af arkitekterne Gehrdt Bornebusch, Jørgen Selchau og Max Brüel, blev opført som industrialiseret montagebyggeri med betonelementer.

Også arkitekten Knud Munk viste med opførelsen af Amtsgården i Roskilde (nu Roskilde Rådhus), international klasse ved en virkningsfuld brug af betonelementer. Bygningens kontorfløj er opført som en præfabrikeret skeletkonstruktion i beton bestående af søjler, facadedragere, bjælker og dæk sammenstillet i en åben struktur der står i rolig kontrast til bygningens lukkede og massive del i pladstøbt beton.



Figur 16. Herlev hospital fra 1976 – eksempel på at industrialiseret montagebyggeri med betonelementer også kan føre til en varieret og inspirerende arkitektur.



Figur 17. Roskilde Rådhus af Knud Munk. Fantasifuld sammenstilling af betonelementer.

Den danske arkitekt, som måske fik mest ud af de arkitektoniske mulighederne med betonelementer, var Jørn Utzon. Han viste på magisk vis, hvordan betonelementer kunne sammenstilles til en både organisk og magisk arkitektur. Udover Sydney Opera House er et eksempel på dette Paustian Møbelhus. Bygningen, som er placeret i Nordhavnen i København, er opbygget af præfabrikerede betonelementer, der efter

inspirationen fra den danske bøgeskov udgør en betagende søjleskov der kulminerer med lysningen – det store rum i midten, der spænder over alle etager.



Figur 18. Paustian af den danske arkitekt Jørn Utzon. Magisk og poetisk sammenstilling af betonelementer.

1.3.1.7 Nye betonidealer

Bortset fra enkelte undtagelser ses betonen i 1980'erne ikke så ofte som synligt materiale. Og når det anvendes, er det oftest i samspil med så mange andre byggematerialer, at det er svært at tale om egentlig betonarkitektur. Perioden er præget af postmodernismens idealer om en symbolpræget og sammensat arkitektur, hvor genbrug af historiske typer og referencer til historiske arkitekturelementer er typiske kendetegn.

Som et opgør mod postmodernismens historiske tilbageblik opstår dekonstruktivismen, hvor arkitekturen accepterer den opløste og fragmenterede virkelighed. Dette ønske om at nedbryde formsprog og helhed i arkitekturen får aldrig rigtig fat i Norden, som det gør andre steder i Europa – sandsynligvis grundet en for stor kontrast i forhold til den nordiske tradition, hvor helhed og harmoni er kvalitetsbegreber, der bliver værnet om.

På grund af betonens store fleksibilitet bliver den ofte anvendt i forbindelse med dekonstruktivismens skæve formsprog. Men tit også i sammenstilling med mange andre byggematerialer. En af de arkitekter, som mest fremtrædende anvender beton til at udtrykke tidens nye formsprog er den irakisk-britiske arkitekt Zaha Hadid.

Med brandstationen i Weil am Rhein fra 1993 viser hun, hvordan skrå skiver af beton kan sammenstilles til en bygning, der efter alle kunstens regler trodser konstruktiv fornuft. Hun har opført en række bygninger, der er en direkte udvikling af den dekonstruktivistiske tankegang – heriblandt Phaeno Science Center i Wolfsburg fra

2005, hvor betonen er det altdominerende materiale, samt tilbygningen til Ordrupgaard i 2006, der er en mere afdæmpet udgave af Zaha Hadids ekspressive arkitektur.



Figur 19. Ordrupgaard tilbygningen fra 2006 af Zaha Hadid opført i sort beton. Bygningen fik in-situ prisen i 2006.

I Danmark bliver der også bygget i beton, helt efter dekonstruktivismens idealer. Den unge danske arkitekt Søren Robert Lund, vinder konkurrencen om at bygge det nye museum for moderne kunst i Ishøj ud til Køge Bugt. Museet, der står færdig i 1996, består af en hovedakse, der støder sammen med og gennembrydes af andre bygningselementer i beton.



Figur 20. Arken i Ishøj fra 1996 af arkitekten Søren Robert Lund. Et dansk eksempel på dekonstruktivistisk arkitektur i beton.

I 1990'erne er der en række arkitekter, der ser nogle helt nye muligheder i betonen. Kendetegnende for deres anvendelsen er, at betonen oftest anvendes ubehandlet, hvorved betonens ærlige udtryk træder frem. Der er nærmest tale om en forfinelse af idealerne fra brutalismen – men hvor betonen nu gøres mere eksklusiv og spiller mere sammen med andre fint forarbejdede byggematerialer, hvorved der opstår en harmonisk og kontrastfyldt arkitektur.

Internationalt er der især 2 kendte arkitekter, som har formået at bygge videre på udviklingen af beton i arkitekturen: Den japanske arkitekt Tadao Ando og den spanske arkitekt Santiago Calatrava. Med beton som altdominerende materiale opfører Ando en lang række bygninger i Japan. De rå betonoverflader ude som inde med nøjsomt proportionerede formplader og placerede konushuller fortæller historien om, hvordan væggene blev konstrueret og giver overfladerne en oplevelse af skala og proportioner. Betonen fremstår som et ædelt materiale, og det var da også Ando som har beskrevet betonen som vor tids marmor.

Hvor Tadao Ando er kendt for at forædle betonoverfladen formår Santiago Calatrava især at udforme spektakulære konstruktioner med beton i et organisk og konstruktivt formsprog. Ved at presse mulighederne for, hvad der kan lade sig gøre konstruktivt med beton – og samtidig lader betonoverfladerne stå synlige – fremstår flere af Calatravas bygninger som førende eksempler på beton anvendt på betons præmisser.

I tiden frem til i dag tegnes betonarkitekturen af en lang række internationale tegnestuer, der dermed har placeret sig i seneste led i betontraditionen og herigennem har fornyet arkitekturen og givet betonen nye, interessante former og overflader.



Figur 21. Tenerife Opera House fra 2003 af Santiago Calatrava. Et eksempel på betonarkitektur som flytter grænserne for det mulige.

I Danmark begynder der for alvor at ske noget igen inden for betonarkitekturen, da arkitekterne Christian og Signe Cold i 1996 vinder den åbne konkurrence om en ny hovedindgang til Zoologisk Have i København. Bygningen indeholder blandt andet en tung auditoriebygning i pladsstøbt beton, hvor betonen står både kraftfuld og hudløst ærlig.

I forbindelse med byggeriet danner de tegnestuen Entasis, og det viser sig at være startskuddet til en række projekter, hvor beton er det dominerende byggemateriale. Dette omfatter tilbygningen til Kildeskovshallen i Gentofte, hvor den nedsænkede betonbygning står i smuk kontrast til den højtrækkende hovedbygning. I 2009 vinder de Betonelement-prisen i Danmark for deres boligbyggeri Emaljahaven i København. Bygningen er opført med polerede betonelementer, der er sammenstillet i et nyskabende fletværk i facaden.



Figur 22. Tegnestuen Entasis fornyer den danske betonarkitektur, blandt andet gennem Indgangspartiet til Zoo i København fra 1998 (Tv) og Tilbygningen til Kildeskovshallen i Gentofte fra 2002 (Th).

I 2006 opføres spejderhytten Hindemosehus af den danske arkitekt Sophus Søbye, der i projektet udnytter flere af betonens både statiske og æstetiske muligheder. De rå betonvægge, der både er grove og fine på samme tid, danner robuste rammer om spejdernes friluftss aktiviteter, hvor grænsen mellem ude og inde i bygningen opleves flydende.

Bygningen er opført med facader i pladsstøbt beton i op til 4 meters højde, og mens de udvendige betonoverflader er støbt mod glat pladeforskalling, er overfladerne ind mod gårdspladsen støbt mod ru brædeforskalling, hvilket skaber en interessant variation gennem anlægget. Byggeriet modtog In-Situ Prisen i 2008.



Figur 23. Hindemosehus fra 2006 af arkitekten Sophus Søbye.

1.3.1.8 Betonarkitektur i fremtiden

Arkitekturen står i 2014 overfor en kæmpe udfordring. Digitale 3D-modeleringsværktøjer anvendes i stigende grad til at udvikle nye, ekspressive formsprog, hvorved en digital arkitektur vinder frem. Men stadig møder den nye arkitektur forhindringer på vejen mod realisering.

Der er fortsat et markant gab mellem det, der kan tegnes digitalt, og det der kan fremstilles fysisk – især inden for realistiske, økonomiske rammer. Dette gælder også for fremstillingen af betonkonstruktioner i et digitalt formsprog. Her ligger de store barrierer i fremstillingen af den forskalling som skal forme betonen, samt fremstilling af den armering som med stor nøjagtighed skal følge denne form.

Men det er formentlig kun et spørgsmål om tid. Gennem en række udviklingsprojekter både på internationalt og nationalt plan videreudvikles og udforskes de teknologier, som skal muliggøre fremstillingen af betonkonstruktioner i et digitalt formsprog. En udvikling der er vigtig for at betonen for alvor kan udløse sit store potentiale i fremtidens arkitektur.

Der forskes meget i forskellige CAM-teknologier (Computer-Aided-Manufacturing), der alle har det til fælles, at de kan omsætte digitale 3D-modeller til fysiske objekter. En stor fordel ved disse teknologier er, at det er relativt nemt at skabe amorfe geometrier med høje kurvaturer, hvilket åbner op for en arkitektur, hvor betonen kan fremstå frit formet.

To eksempler på frit-formet betonarkitektur skabt via CAM-teknologi er Mercedes Benz Museum i Stuttgart fra 2006 af det hollandske arkitektfirma UNStudio og Spencer Dock Bridge i Dublin fra 2009 af den engelske tegnestue Amanda Levete Architects. Betonkonstruktionerne i Mercedes Benz Museum er skabt ved CNC-skæring af støbeplader af krydsfiner og sammensat til en dobbeltkrum forskalling, og forskallingen til Spencer Dock Bridge er skabt via CNC-fræsning af store blokke i ekspanderet polystyren.



Figur 24. Dobbeltkrumme betonkonstruktioner i Mercedes Benz Museum i Stuttgart fra 2006 skabt via digitalt fabrikation af forskalling til beton.

Også i Danmark findes der eksempler på digitalt fabrikeret arkitektur. Således er en 12 meter lang betonpavillon støbt i Glostrup skabt som hovedresultatet fra udviklingsprojektet Unikabeton.

Konstruktionen – som viser mulighederne ved digitalt frembragt arkitektur, hvor et specialsoftware har optimeret formen til en organisk minimalkonstruktion – er skabt ved hjælp af robotteknologi. Alle forskallingsdele er fræset ud i ekspanderet polystyren.

Samme teknologi blev anvendt til opførelsen af en endnu større betonpavillon i Aarhus i 2014, hvor teknologien blev presset til det yderste. Konstruktionen, som blev skabt gennem det europæiske udviklingsprojekt TailorCrete, introducerede endvidere en teknik, hvor de robotfremstillede forskallingsdele kunne genanvendes – helt i tråd med tankegangen om bæredygtige byggeprincipper.



Figur 25. Betonpavillon i Aarhus der viser nogle af de formmæssige potentialer ved digital fabrikation af støbeforme til beton.

De nævnte eksempler udnytter mulighederne ved substraktive processer, men fremover vil der også blive sat mere fokus på de additive processer. Mulighederne er fx til stede for at 3-D printe bygninger med en hurtighærdnende beton.

Meget tyder på, at beton som æstetisk materiale fremover vil få en endnu større rolle i arkitekturen end i dag. Betonen, denne frit formbare flydende sten, er et helt oplagt byggemateriale, når fremtidens digitale arkitektur skal bygges. Et materiale, der både kan være hovedkonstruktion, formes frit, have æstetiske og ærlige overflader samt være bæredygtigt især på grund af den lange levetid, har alle forudsætningerne for også at være fremtidens foretrukne byggemateriale, når den nye bølge af digitalt formet arkitektur for alvor slår igennem.

1.3.2 Betonoverfladens udtryk

Beton har en række unikke egenskaber, der adskiller den markant fra andre byggematerialer. Beton er plastisk i sin oprindelse og kan formgives til en hver tænkelig geometri, der – med rette valg og dimensionering af den indre armering – kan indgå som bærende konstruktion i et byggeri, hvor konstruktionen både optager betydelige tryk og trækkræfter. Herudover er beton materialet med de mange ansigter. Således

kan betonoverfladen bibringes alle tænkelige farver, teksturer, mønstre og relieffer, hvilket giver en stor palet af muligheder, når betonens udtryk skal frembringes.

I det følgende gennemgås en række udvalgte overfladetyper, der er blevet anvendt i arkitekturen som en vigtig del af det arkitektoniske udtryk. Overfladerne kan overordnet deles op i ubearbejdede overflader og efterbearbejdede overflader, der begge indeholder en række muligheder for at give betonoverfladen en helt særlig karakter i forhold til struktur og tekstur. Udover ubearbejdede og efterbehandlede overflader, vil muligheden for at skabe farver, mønstre og relieffer blive behandlet særskilt.

1.3.2.1 *Ubearbejdede formstøbte overflader*

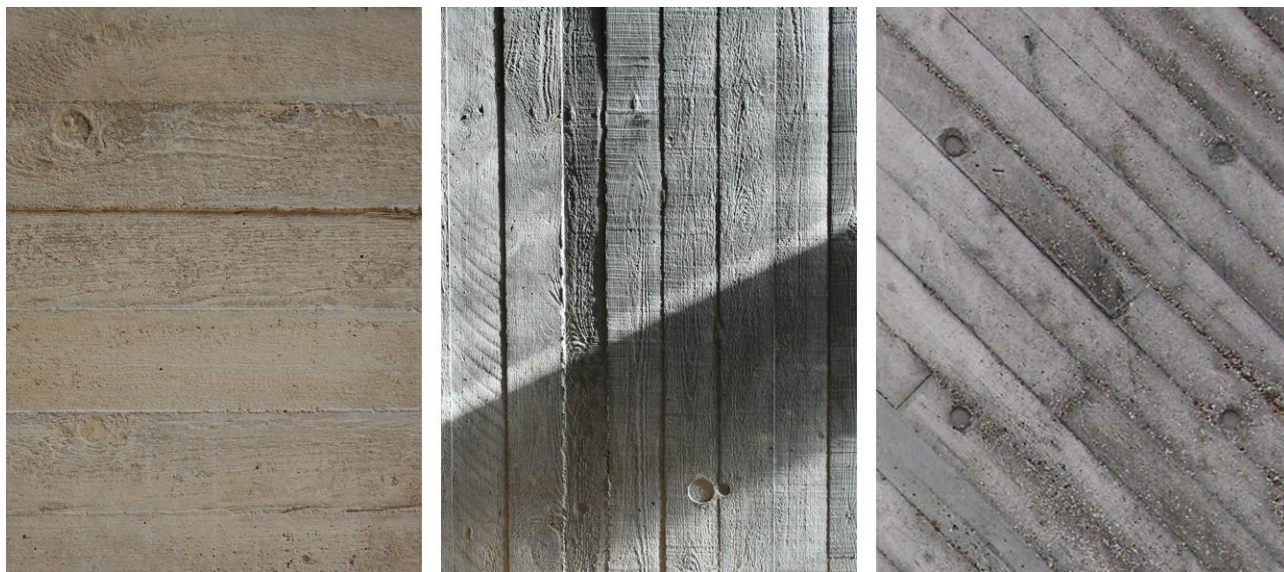
Hvis formstøbte overflader ikke bearbejdes efter afformning, fremstår betonoverfladen med et nøjagtigt aftryk af støbeformens karakter gengivet ned til mindste, synlige detalje.

Et særligt fænomen ved støbning af ubearbejdede overflader er porehuller. Disse skyldes indesluttet luft som er blevet hængende i overfladen under udstøbningen. Porehuller kan aldrig helt undgås – særligt når der støbes mod tætte, glatte overflader – og de må betragtes som en naturlig, integreret del af betonoverfladen så længe antallet og størrelsen af huller ikke giver anledning til dominans og uensartede overflader.

Valg af støbeformens materiale og karakter er naturligvis afgørende for, hvilken karakter betonen efterfølgende får.

Et af de mest anvendte materialer til støbeforme er træ. Gennem tiden har især anvendelsen af rå, uhøvlede brædder været med til at tegne betonens ansigt. Mulighederne med bræddestruktur i betonoverflader er blevet udviklet i mange interessante variationer både hvad angår struktur, størrelse og orientering.

Bræddeforskallingens karakteristiske opstribning af betonoverfladen har til alle tider været et vigtigt virkemiddel i arkitekturen, hvor brædderne både har været med til at fortælle historien om betonoverfladens tilblivelse samt give en fornemmelse af skala i byggeriet. Bræddeforskallingen var næsten altdominerende til pladsstøbte konstruktioner i 1960'erne og 1970'erne. Senere har forskalling udført af plader af krydsfiner eller stål vundet frem, men mange betonkonstruktioner udføres fortsat med bræddeforskalling.



Figur 26. Eksempler på forskellige betonoverflader støbt mod ru bræddeforskalling. Tv: Flodhestehuset i Zoo, Købehavn fra 2007 af Dall & Lindhardtsen. Midt: Sælarium – udvidelse af Nordsømuset i Hirtshals fra 2001 af Friis & Moltke. Th: Gug Kirke ved Aalborg fra 1972 af Inger og Johannes Exner.

Krydsfinerplader anvendes ofte som forskalling. Nogle gange ubehandlede, hvormed træets årestruktur træder frem i overfladen – men oftest anvendes belagt med en glat, vandtæt støbefilm, der giver betonen en glat overflade uden karakter fra træet.

Disse krydsfinerplader, som ofte blot kaldes for støbeplader, har siden 1980'erne overhalet bræddeforskallingen som det foretrukne forskallingsmateriale til pladsstøbte konstruktioner. Muligheden for at skabe store, glatte betonflader har tiltalt flere arkitekter og bygherrer, og denne type betonoverflader er i 2014 den mest anvendte.



Figur 27. Betonoverflade støbt mod traditionelle støbeplader. Samlingerne mellem støbepladerne i forskallingen tegner en karakteristisk grat i betonen. Fra Bunkermuseet i Hanstholm fra 2002 af CUBO Arkitekter.

Et andet hyppigt anvendt formmateriale, som også giver en glat overflade, er stål. Forme i stål anvendes typisk i forbindelse med større, ensartede flader – primært i forbindelsen med seriefremstilling af præfabrikerede betonelementer. Stålfarme er dyre i anskaffelse, men kan oftest anvendes til flere hundrede støbninger før udskiftning.

Træ og stål er de mest anvendte materialer til betonstøbeforme, men det er i teorien muligt at støbe mod mange slags materialer. I det følgende gennemgås en række alternative materialer der på baggrund af deres egenskaber har vist sig velegnet som materialer til betonstøbeforme.

Glasfiberarmeret polyester er et stærkt og holdbart formmateriale. Formen fremstilles på baggrund af en master-form, hvor polyesterens påføres. Overfladen bliver meget glat uden synlige samlinger. Metoden anvendes ofte i forbindelse med masseproduktion af præfabrikerede elementer, hvor en høj fremstillingspris tjenes hjem gennem muligheden for mange støbninger i samme støbeform.

Tekstiler hører til et af de nyere formmaterialer. Tekstilerne har en række formgivnings- og håndteringsmæssige fordele og kan udgøre selve støbeformen eller anvendes som indlæg heri. Tekstilernes åbne struktur tillader at luft og overskudsvand fra betonen kan passere. Det giver en tættere overflade, da vand/cement forholdet sænkes, og samtidig bliver overfladen overvejende porefri og mere ensartet. Betonoverfladen vil selvfølgelig få karakter efter tekstilernes struktur. Tekstiler kan i øvrigt udnyttes som armering af betonen.



Figur 28. Tekstiler blev anvendt som forskalling i forbindelse med HEART i Herning fra 2009 af Steven Holl. Tekstilerne blev anvendt som indlæg i forskallingen, og har skabt særlig en særlig "stoflig" tekstur – inklusive foldninger i stoffet.

1.3.2.2 Ubearbejdede overflader ved særlige støbemetoder

Støbning af beton i en fast form er ikke den eneste anvendte støbemetode. Et par alternativer gennemgås i det følgende. Disse metoder har en afgørende betydning for betonens arkitektoniske fremtræden.

Glideforskalling anvendes oftest i forbindelse med høje konstruktioner, såsom siloer, tårne, trappeskakte og høje vægge. Under støbningen løftes støbeformen gradvist, mens der støbes kontinuerligt. Glideforskallingens støbeflade består typisk af træ eller stål. Karakteristisk for glibestøbte overflader er, at der fremkommer både vertikale og horisontale striber i betonen, hvilket kan bidrage til det arkitektoniske udtryk.

Sprøjtebeton giver sit helt eget udtryk i betonoverfladen. Udgangspunktet for en sprøjtestøbning udgøres af en åben (ensidig) støbeform normalt med et armeringsnet formet som den endelige konstruktion. Herpå sprøjtes betonen ved hjælp af trykluft, indtil der er opnået en ensartet tykkelse. Overfladen kendetegnes ved at være meget grov, hvilket giver en meget levende overflade.



Figur 29. Sprøjtestøbte betonoverflader på Minnaert Building i Utrecht, Holland fra 1997 af Neutelings Riedijk.

1.3.2.3 Efterbearbejdede overflader

Betonoverflader kan bearbejdes efter støbningen, så de får en særlig overfladekarakter. Ved ubearbejdede betonoverflader er det cementskuden, der karakteriserer betonoverfladen, mens det ved efterbearbejdede overflader især er tilslaget – evt. i kombination med cementskuden – som karakteriserer overfladen. Derfor vil både type og farve af tilslag være afgørende for den efterbearbejdede betonoverflades fremtræden. Der findes et utal af metoder til at efterbearbejde betonoverfladen, og i det følgende gennemgås nogle af de mest anvendte.

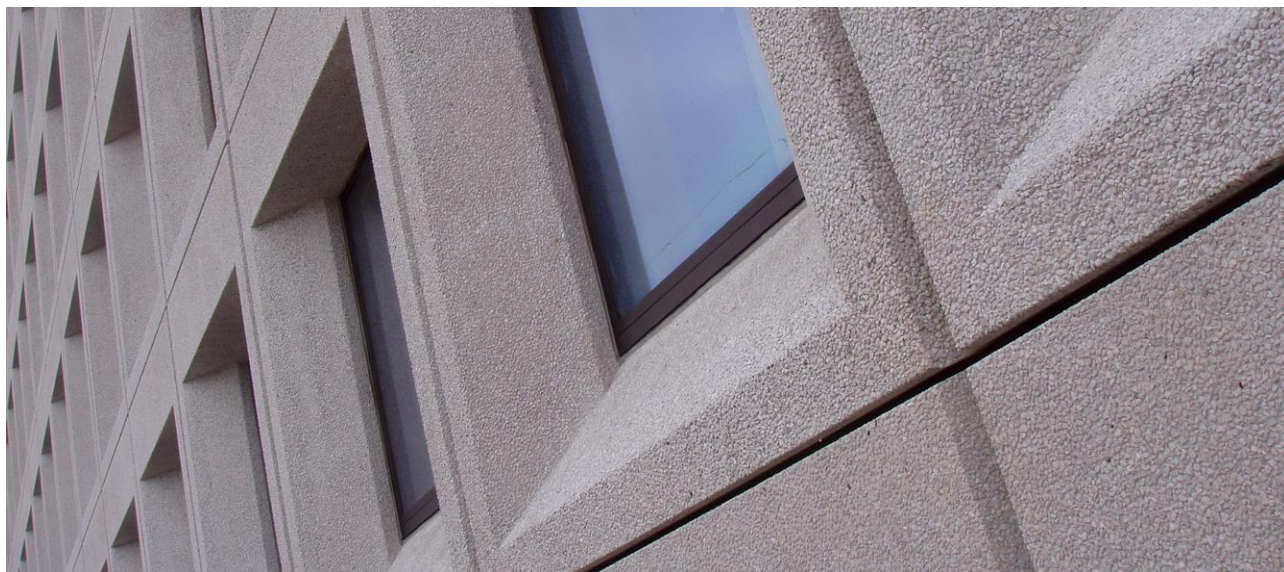
Afsyring er en metode som oftest anvendes i forbindelse med betonelementer, men kan også anvendes til pladsstøbte betonoverflader. Metoden bygger på, at betonoverfladen vaskes i syre som efterfølgende spules væk, hvormed den yderste cementpasta opløses, og det fine tilslag fremhæves i overfladen. Resultatet er en meget levende betonoverflade, hvor farven og strukturen fra det fine tilslag bidrager til at give en særlig overfladekvalitet.



Figur 30. Afsyrede betonoverflader på Scandinavian Congress Center i Aarhus fra 1995 af Friis & Moltke.

Sandblæsning af betonoverflader giver en dybere og grovere frilægning af tilslaget end afsyring – og typisk vil det også være vanskeligere at udføre. Sandet fjerner både cementpasta og i nogen grad fint tilslag, hvormed overfladen bliver forholdsvis ru. Idet sandblæsningen også påvirker det blottede tilslag, får dette et mat udtryk. Sandblæsningen kan udføres både med fint sand og groft sand, hvormed forskellige grader af ruhed og mathed kan opnås. Arkitektonisk giver metoden mulighed for at skabe betonoverflader, der kan give mindelser om flere ubehandlede naturstenstyper og dermed et mere rå udtryk. Kunstnerisk anvendes metoden også til at skabe mønstre og relieffer i betonen.

Betegnelsen fritlagte betonoverflader anvendes i de tilfælde, hvor det er tilslaget der udgør "betonens" overflade. Frilægning opnås typisk ved at påføre en retarder – fx en sukkeropløsning der forsinker betonens afbindingstid – direkte på formmaterialet. Efter afformning spules den ikke-afbundede cementpasta i overfladen væk, hvormed tilslaget træder frem og dermed udgør den egentlige overflade. Derfor vil tilslagets udseende – størrelse, form og farve – være afgørende for, hvordan overfladen fremtræder.



Figur 31. Frilagt betonoverflade i forbindelse med Mærskes hovedsæde i København fra 1979 af Ole Hagen.

Kløvede overflader er en samlet betegnelse for en række mekaniske efterbearbejdningsmetoder, hvor den hærdnede betonoverflade kløves, hamres eller hugges, hvormed der skabes en grov tekstur med synlige spor fra den anvendte metode. Overfladen fremstår med mange små brudflader, der kan give mindelser om eksempelvis grove granitoverflader.



Figur 32. Eksempel på kløvede betonoverflader i forbindelse med MAGMA Kunst- og Kongrescenter på Tenerife fra 2005 af Fernando Martin Menis.

Ved en slebet betonoverflade træder betonens tilslagsmaterialer frem og giver den velkendte terazzooverflade. Der findes 4 overordnede grader af slebne overflader afhængigt af, hvor fin eller grov overfladen skal fremstå:

- Grovslibning; grov overflade
- Finslibning; fin, mat overflade
- Polérslibning; højere finhedsgrad end finslibning
- Polering; fin, glinsende overflade.



Figur 33. Eksempel på slebne betonoverflader i forbindelse med Emaljehaven i København fra 2006 af Entasis.

Mens de omtalte efterbearbejdningsmetoder udføres på den hærdede beton, findes en række efterbearbejdningsmetoder som udføres på den friske beton for at give en særlig overflade. Med disse metoder, som oftest udføres i forbindelse med gulvflader eller betonelementer, kan der eksempelvis opnås glittede, kostede og rullede betonoverflader.

Glittede overflader udføres typisk med specialmaskiner – tallerken- og vingeglittere, der i roterende bevægelser afriver og glitter overfladen. Glittede overflader kan korrekt udført blive endog meget ensartede og glatte i overfladen.

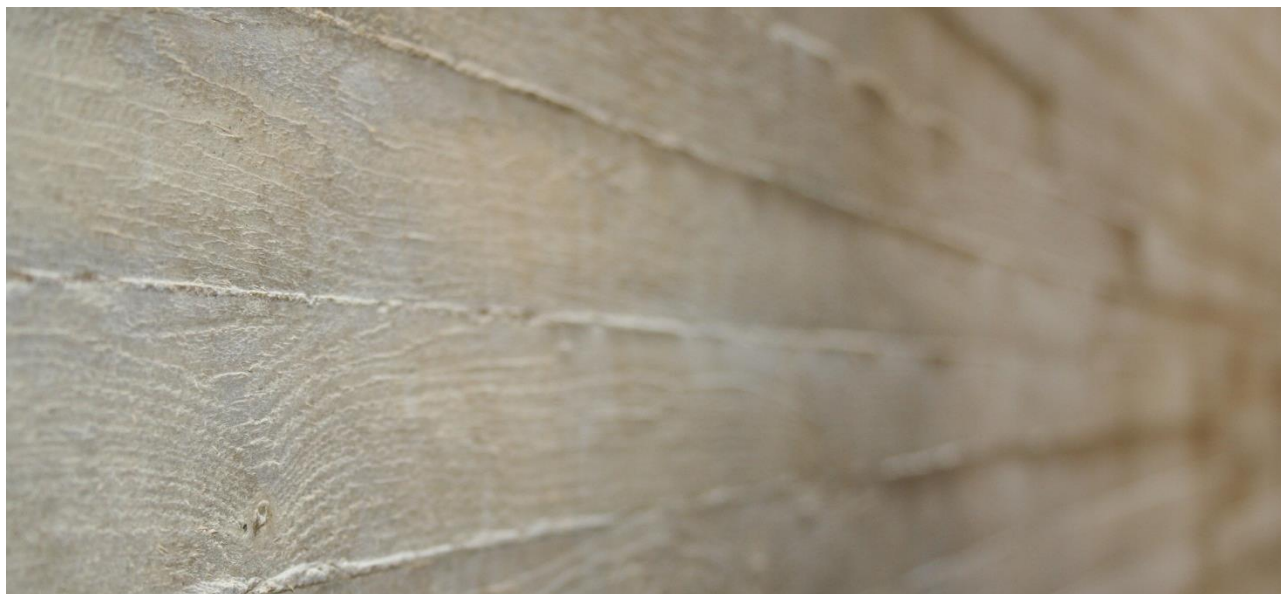
Kostede overflader opnås ved at en kost trækkes hen over den endnu ikke hærdede betonoverflade, hvilket skaber en rillet overflade.

Rullede overflader udføres med ruller eller valser, som efterlader en levende, bølget overflade.

1.3.2.4 Farver og nuancer

Betonens farve bestemmes af de fine partikler, dvs. cement, tilsætninger og filler i tilslaget.

Som udgangspunkt er det cementen, der bestemmer betonens farve, hvilket vil være grå eller hvid (ved brug af hvid cement). Herefter bestemmer eventuelle tilsætninger som mikrosilika, flyveaske eller kalkfiller samt det fine sand farvenuancen. Flyveaske og mikrosilika giver en mørkere grå nuance, end hvis der kun anvendes cement.



Figur 34. Betonoverflader i gule nuancer ved Flodhestehuset i Zoo, København. Farven skyldes anvendelsen af Ikast-sand som tilslag i betonen, hvilket giver den gule toning.

Udover de traditionelle "betonfarver" kan betonen indfarves. Dette opnås ved at tilsætte pigmenter til betonen. Farvet beton fremstilles primært ud fra hvid cement. Tilsætninger i form af farvepigmenter findes i forskellige farver i fx rød, gul, brun eller sort.

Modsat malede betonoverflader fremstår pigmenterede betonoverflader mere ægte, da indfarvningen ikke går ud over betonoverfladens støflighed. Farven vil dog normalt falme med tiden.

Opfattelsen af en betonoverflades farvenuance kan visuelt opfattes som foranderlig. Eksempelvis vil en våd betonoverflade opfattes markant mørkere end en tør betonoverflade. Det skyldes det tynde lag kalciumkarbonat-krystaller på overfladen, der giver betonen et lysegråt, hvidligt skær på den tørre beton – men når betonoverfladen er våd, kan krystallerne ikke reflektere lyset i samme grad, og man ser derfor betonens reelle farve.

1.3.2.5 Mønstre og relieffer

Gennem tiden er der eksperimenteret med at skabe mønstre og relieffer i betonoverflader. Som udgangspunkt vil aftegninger fra et forskallingsmateriale, fuger mellem betonelementer, aftegninger af formsamlinger, konushuller mv. udgøre et karakteristisk mønster på en betonoverflade- og facade.

Herudover er der også en række metoder til at skabe betonoverflader, der kan være mønster- eller billeddannende. I det følgende gennemgås en række eksempler, der har været med til at udfolde de potentialer, der adskiller beton fra andre byggematerialer.

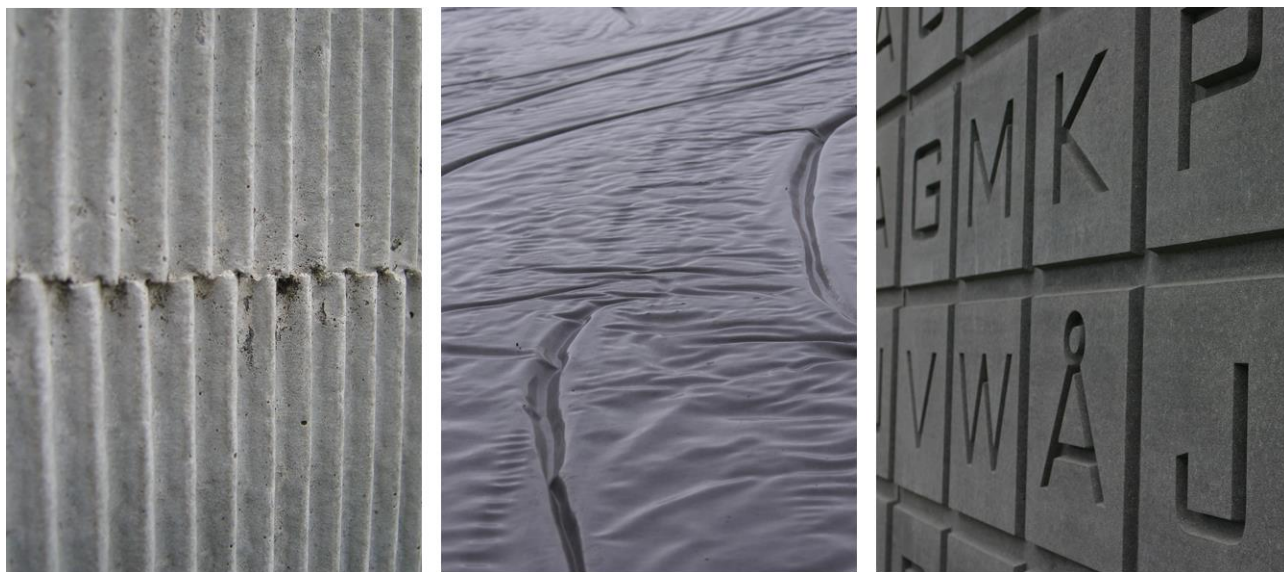
Grafisk beton eller "Graphic Concrete" giver mulighed for at præge grafiske motiver ind i betonoverfladen. Det ønskede mønster eller billede trykkes med en retarder på en dug, hvorefter betonen udstøbes med denne dugen som formside. Efter afformning spules overfladen, hvormed der sker en frilægning af betonoverfladen i områderne med retarder. Effekten er mest markant, når der er størst kontrast i farverne, dvs. en lys beton og et mørkt tilslag.



Figur 35. Motiver i beton skabt via "Graphic Concrete".

Når et mønster eller billede udgøres af et aftryk ind i betonen eller træder ud af betonen er der tale om et relief. Relieffer kan fx dannes ved, at der placeres et indlæg i støbepformen. Indlægget kan være profilerede metalplader, bølgepap, plastfolier mv.

Et eksempel er betonoverfladerne i forbindelse med Danmarks Radios koncertsal i Ørestaden, skabt af den franske arkitekt Jean Nouvel, hvor en plastfolie er lagt tilfældigt i støbepformene, hvilket giver nogle glatte, foldede betonoverflader der har fået tilnavnet "elefanthud".



Figur 36. Betonoverflader med relieffer. Tv: DR's koncertsal i Ørestaden. Midt: Rytmaskonservatorium på Holmen i København fra 1997 af CUBO Arkitekter. Th: Aller Tryk i Taastrup fra 2002 af Gottlieb og Paludan. På Aller Tryk er bogstaverne placeret "tilfældigt". Det krævede en omfattende kvalitetssikring at undgå, at der herved tilfældigt opstod ord eller udsagn i overfladen.

Når der skabes betonoverflader med relieffer, anvendes ofte gummimatricer. Metoden er i nogle tilfælde anvendt til at få betonen til at imitere strukturen fra et andet byggemateriale, eksempelvis tegl eller natursten, men i andre tilfælde er metoden også anvendt langt mere inspirerende til at skabe helt nye overfladeudtryk som i stedet afsøger nye sider af betonens store potentiale.

I nyere tid er der eksperimenteret en del med at frembringe relieffer ved hjælp af digitale fabrikationsteknikker. Det kan eksempelvis ske ved digitalt at udfræse relieffer i et modelmateriale, typisk polyuretan- eller polystyrentyper, som enten anvendes direkte som formindlæg eller påføres en coating, eksempelvis epoxy, gummi eller lignende, inden det anvendes som formindlæg. Denne metode kan også anvendes til at støbe føromtalte gummimatricer – men hvor gummimatricerne ofte først vil være rentable efter 10-20 støbninger, vil de fræsede formindlæg være mere velegnede til unikke støbninger.



Figur 37. Teknologisk Institut har udført en række demonstrationsforsøg med relieffer skabt via digital fabrikation. Mulighederne er som det ses store, men effekterne skal anvendes med betydelig arkitektonisk forsigtighed.

Gennemsigtig beton kan skabes med optiske fibre indstøbt i betonen. Herved skabes en masse små lysledende kanaler, som transporterer lyset gennem betonen. Hvis de optiske fibre arrangeres jævnt over hele overfladen, vil betonen opleves translucent (gennemskinnelig).

Lyslederne kan også arrangeres så de bliver mønster- eller billeddannende. Teknologien åbner op for helt nye arkitektoniske virkemidler, hvor eksempelvis dagslys kan trækkes ind i ellers mørke rum, eller billeder kan projekteres ind fra bagsiden, hvormed betonoverfladen kan fungere som billedskærm.



Figur 38. Optiske lysledere i beton giver mulighed for at transportere lys fra betonens bagside frem til overfladen.

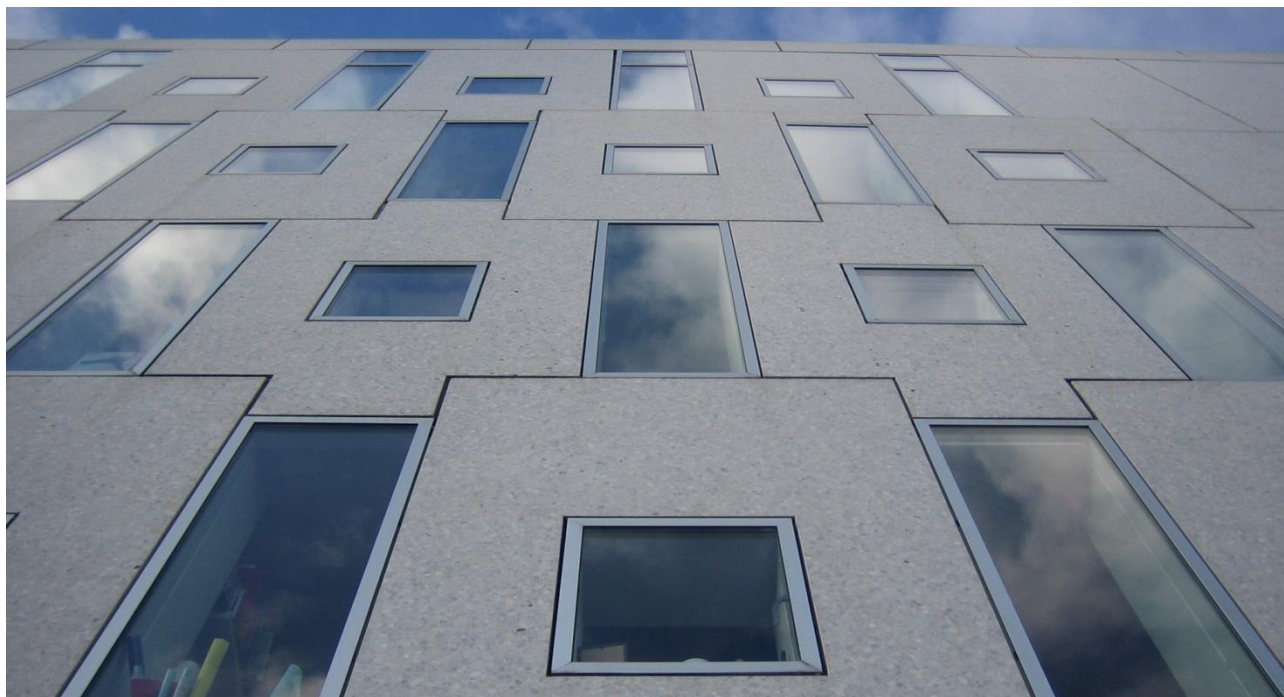
1.3.3 Produktionsmæssige præmisser

Fordi beton er et byggemateriale, der skabes i takt med produktionen, har produktionsforholdene altid betydning. Disse produktionsmæssige præmisser bunder oftest i en række teknologiske forudsætninger, der i sidste ende får en betydning for det arkitektoniske udtryk. De bedste eksempler fra arkitekturen er skabt hvor arkitekterne har set nye arkitektoniske muligheder på baggrund af de produktionsmæssige præmisser frem for at modarbejde disse.

1.3.3.1 Elementsamlinger

Når der bygges med betonelementer, bliver udformningen af hvert element – og især samlingen herimellem – meget afgørende for det arkitektoniske udtryk. Netop byggeri med betonelementer har historisk været præget af uinspireret anvendelse, hvor den nemme og billige produktion og stabling af ens elementer ofte har medført en repeterende arkitektur som også har fået betegnelsen "kransporsarkitektur".

Trods udviklingen findes der dog arkitektonisk interessante bud på en mere kreativ og æstetisk anvendelse af betonelementer i arkitekturen. Disse bud bygger oftest på en særlig bearbejdning af selve betonoverfladen og/eller en interessant samstilling af betonelementer, hvor elementernes geometri og indbyrdes placering giver en særlig arkitektonisk relevans.



Figur 39. Ved at se nye muligheder i udformning og sammenstilling af betonelementer, kan der skabes nye, inspirerende udtryk. Her eksemplificeret ved Emaljehaven.

Udover geometri, størrelse og overflade har betonelementers størrelse vist sig at have en stor betydning for den visuelle ensartethed af hele facaden. Det vil oftest være mest markant i forbindelse med farveforskelle betonelementer imellem. Farveforskelle mellem betonelementer er en næsten uundgåelig præmis, som fremkommer via små variationer i støbeforme, betonblandinger, lagringsforhold mv. Farveforskelle vil typisk opfattes mest markant, hvis en facade består af få, store betonelementer, og mindre markant når facaden består af mindre enheder, der trods indbyrdes variationer kan udgøre en høj grad af visuel ensartethed.

De samme forhold gør sig gældende, når betonoverfladerne patinerer. Et arkitektonisk design, der nedbryder facaderne i mindre elementer, vil ofte være med til at give en oplevelse af mere ensartet patinering efterfølgende.

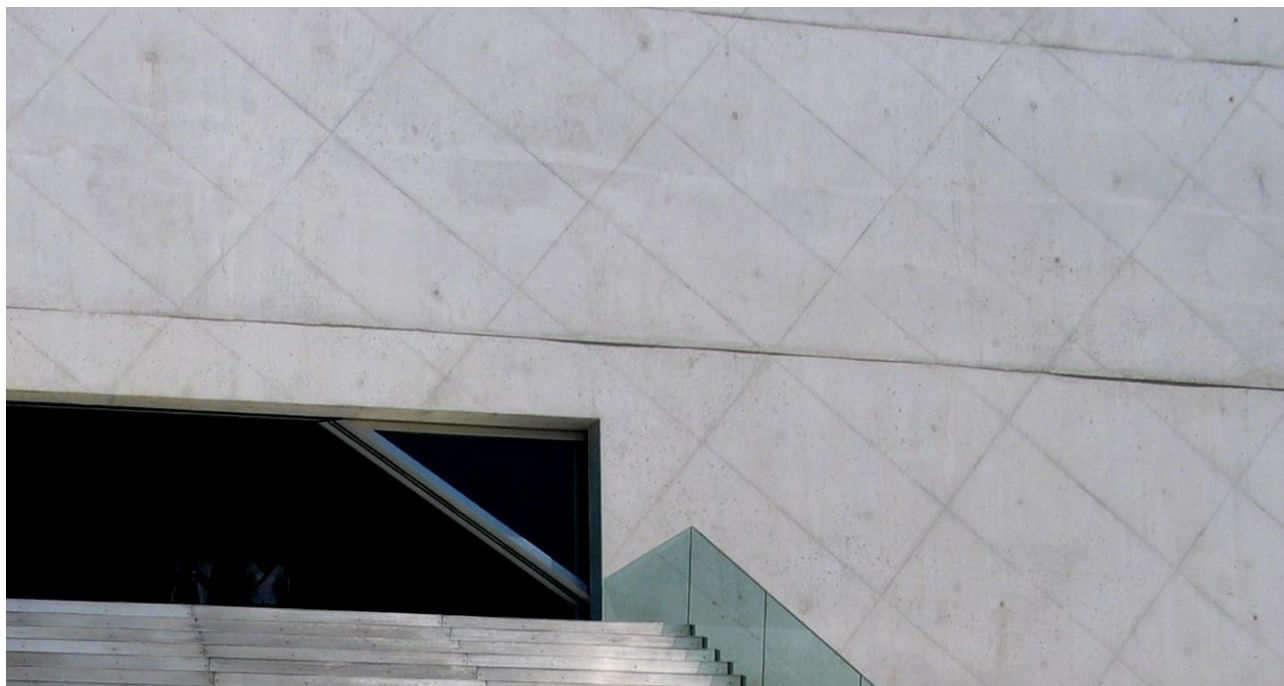


Figur 40. Eksempel på to elementbyggerier, hvor der i begge tilfælde er farveforskelle betonelementerne imellem, men der er stor forskel på, hvordan den visuelle ensartethed opleves. Tv: United Exhibits Group i København fra 2003 af Kim Utzon Arkitekter, hvor der er meget lav grad af visuel ensartethed, da elementerne er meget store og få, og derfor er det nemt at få øje på, at ét element skiller sig ud farvemæssigt. Th: 3F's domicil i Århus fra 2001 af 3XN, hvor der – trods tydelige farveforskelle elementerne imellem – opleves stor ensartethed på facadeniveau, da størrelsen og antallet af elementer giver et indtryk af en homogen enhed.

1.3.3.2 Formsamlinger

Ved større, sammenhængende betonoverflader opdeles forskallingen i mindre dele. Det vil oftest gøre sig gældende ved pladsstøbte konstruktioner. Her anvendes typisk forskellige varianter af systemforskalling, som er præfabrikerede forskallingsdele, der på byggepladsen kan sammensættes til den samlede forskalling. Hver forskallingsdel består typisk af et stålskelet, der sørger for den statiske struktur, samt en vandfast krydsfinerplade, der udgør selve støbefladen.

Efter støbning vil samlingerne mellem krydsfinerpladerne være synlige i betonoverfladen og dermed udgøre et mønster henover konstruktionen. Ofte vil arkitekter bevidst arbejde med dette mønster, da det indgår som en markant del af det arkitektoniske udtryk. Der er flere eksempler på, at der ikke blot er eksperimenteret med forskellige størrelser systemforskallingsdele, men også eksperimenteret med forskellige inddelinger af hver forskallingsdel via formindlæg. Disse kan være både være valgt for at give overfladen en ny inddeling og æstetisk kvalitet og/eller relief og geometri.



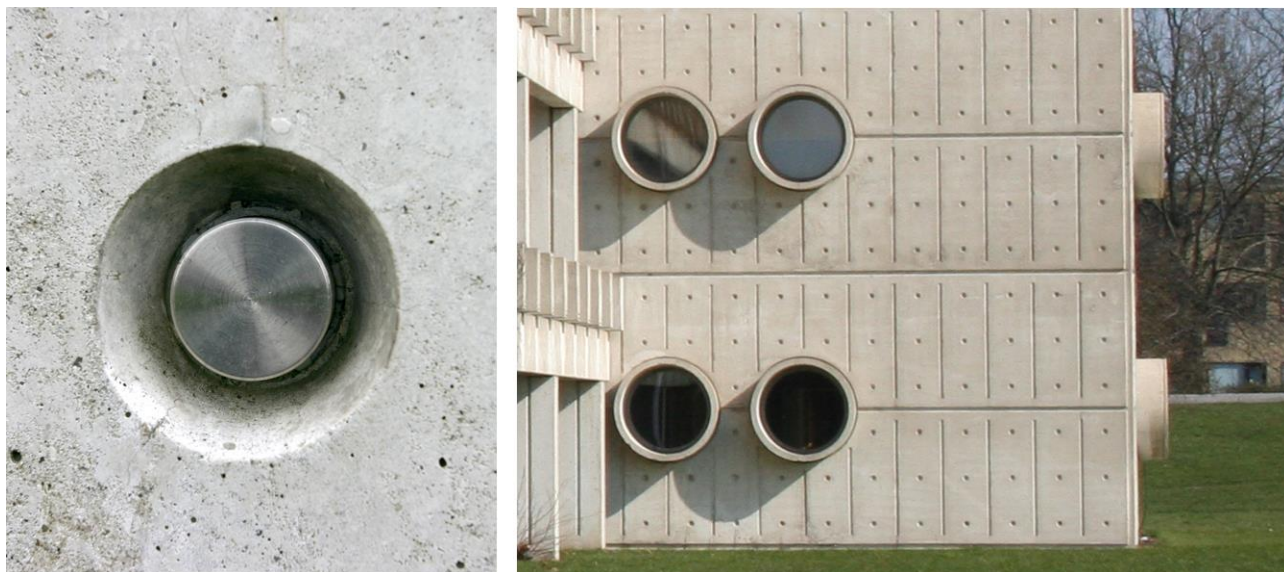
Figur 41. Eksempel på at formsamlinger kan udgøre et mønster på facaden og fremhæve arkitekturen. Casa Musica i Porto, Portugal fra 2005 af OMA.

1.3.3.3 Konushuller

Et af de mest markante markeringer, som optræder på større betonkonstruktioner, er de små, cirkulære fordybninger kaldet konushuller eller klampshuller. De fremkommer primært ved pladsstøbte betonkonstruktioner, hvor der er anvendt spændestave (klampsjern) til at holde to forskallingsdele sammen.

Normalt er spændestavene beskyttet af et plastrør som afsluttes med en plastprop formet som en konus. Konusproppen fjernes efter støbningen, og efterlader dermed et konusformet hul i betonen. Hullet udfyldes med en prop i plast eller stål – eller mest almindeligt med mørtel. Ved sidstnævnte metode udføres udfyldningens overflade ofte nedsænket i forhold til resten af betonoverfladen, dels for at sløre den uundgåelige farveforskel og overfladekarakter mellem betonoverfladen og mørteludfyldningen, dels for at skabe en klar arkitektonisk afgrænsning mellem betonoverflade og udfyldning.

Konushuller i pladsstøbte konstruktioner anses for at være en af de præmisser, der er med til at give beton sit helt eget udtryk. Blandt andet derfor har mange arkitekter eksperimenteret med både udformning og rytme i placeringen af konushuller, så de kunne være med til at udgøre en integreret del af det arkitektoniske udtryk. I flere tilfælde er der indført "falske" konushuller, dvs. afsat konuspropper hvor der ikke har været behov for spændestave, for at skabe et tilsigtet mønster på betonfacaden.



Figur 42. Konushuller er meget karakteristisk for pladsstøbte betonkonstruktioner, og kan være med til at udgøre en ornamentering af en facade. Tv. Retsbygningen i Holsterbro fra 1992 af 3XN, hvor konushullerne er udfyldt med en metalprop. Th. Facade i forbindelse med Roskilde Rådhus fra 1979 af Knud Munk, hvor konushullernes er placeret bevidst i et mønster der understreger bygningens arkitektur.

1.3.4 Ældning og patinerung

Den arkitektoniske udformning af betonbyggeriet en afgørende betydning for, hvordan betonoverfladen ældes og patinerer. Den æstetiske oplevelse – især den visuelle ensartethed – vurderes ofte på baggrund af den måde hvorpå de synlige betonoverflader patinerer.

Ældning og patinerung kan inddeles i 4 overordnede typer:

- Begroning – alger, skimmelsvamp, mikroorganismer
- Nedbrydning – nedbør, mekanisk nedbrydning, forvitring
- Misfarvning – rustudfældning, kalkudblomstring
- Tilsmudsning – snavs, støv, sod, trafikfilm.

Ved tilførsel af især regnvand accelereres ældningsprocessen betydeligt, afhængig af forskelle i afvaskning og opfugtning af overfladen. Således vil vandet – afhængig af detaljeringen – enten løbe fra overfladen og dermed lede smuds væk, eller absorberes af overfladen og dermed afsætte smuds. Vand har ligeledes stor betydning for, om overfladen bliver begroet med alger og andre vækster, der især trives i et fugtigt miljø.

Nedenstående detaljer har stor betydning for, hvordan betonoverfladerne ældes og patineres:

- Bygningsdetaljerung – formgivning, udkragninger, sølbænke, tagafslutning, vinduesdetaljer, objekter mv.

- Overfladekarakter – overfladetekstur og relieffer.

Herudover vil diverse udførelses- og driftsmæssige forhold også kunne have en betydning for ældning og patinering af betonoverflader.

1.3.4.1 Bygningsdetaljer

En bygnings overordnede formgivning, størrelse og orientering har en betydning for, hvor meget vand der tilføres de forskellige bygningsdele. Særligt er vindretningen afgørende, fordi vind- og læside modtager forskellige mængder vand – hertil kommer, at vandet på vindsiden ofte fordeles ujævnt, fordi vinden danner hvirvler, som kan trække vand væk fra især de nedre dele af bygningen. Vandrette eller skrå, opadvendte bygningsflader vil også have en tendens til at blive mere begroede end vertikale flader.

Detaljeringen omkring vinduer i et betonbyggeri er ofte genstand for uensartet patinering. I modsætning til betonoverfladen suger vinduerne typisk ikke vand, hvorfor der i under et vindue vil ophobe sig større vandmængder, som skal fordeles videre ned ad facaden.

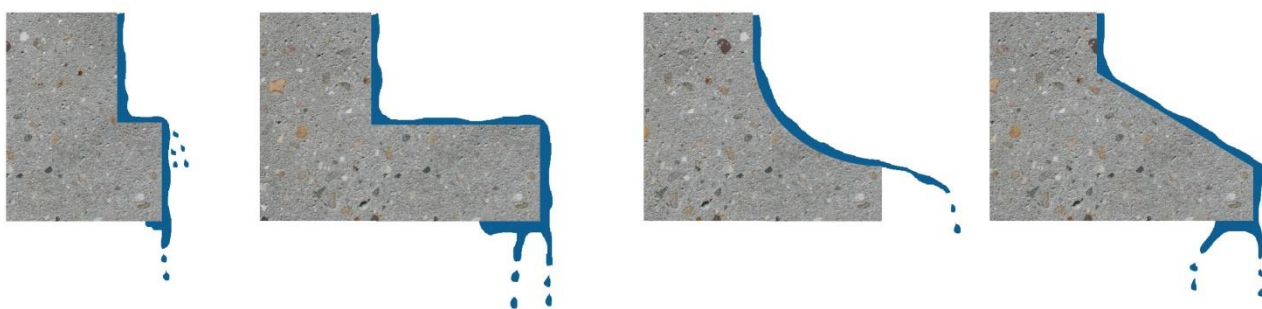
Udformningen af en sålbænk, vandnæse, afløbsrende eller lignende er afgørende for, hvordan vandet strømmer videre ned af facaden. Typisk vil smalle sålbænke eller vandnæser under større vinduespartier resultere i, at vandet løber videre ned ad facaden umiddelbart under vinduet med størst koncentration i kanten. Det resulterer i nogle ofte markante striber under vinduet.

Hvis sålbænken eller drypnæsen er større og dækker mere end vinduets bredde, vil der ske en betydelig mere ensartet patinering af betonoverfladen. Ved løsninger, hvor vandet under vinduer ledes bort via afløb, opnås ligeledes en mere ensartet patinering.



Figur 43. Tv: Tydelig begroning i striber under drypnæse fra vinduer på Retsbygningen i Holstebro. Th: Samme detaljering, men her skaber afvandingen en egentlig afvaskning af overfladen i striber på Hotel Astoria i København fra 1935 af Ole Falkentorp. Resultatet for begge eksempler er uensartet patinering under vinduer.

Diverse udkragninger kan have meget varierende effekt på vandbevægelsen over en facade. Her er både størrelsen og udformningen af udkragningen af stor betydning for, hvordan vandet ledes videre.



Figur 44. Evnen af forskellige udformninger af udkragninger til at kaste vand væk fra facaden, når de udsættes for hurtigt strømmende vand.

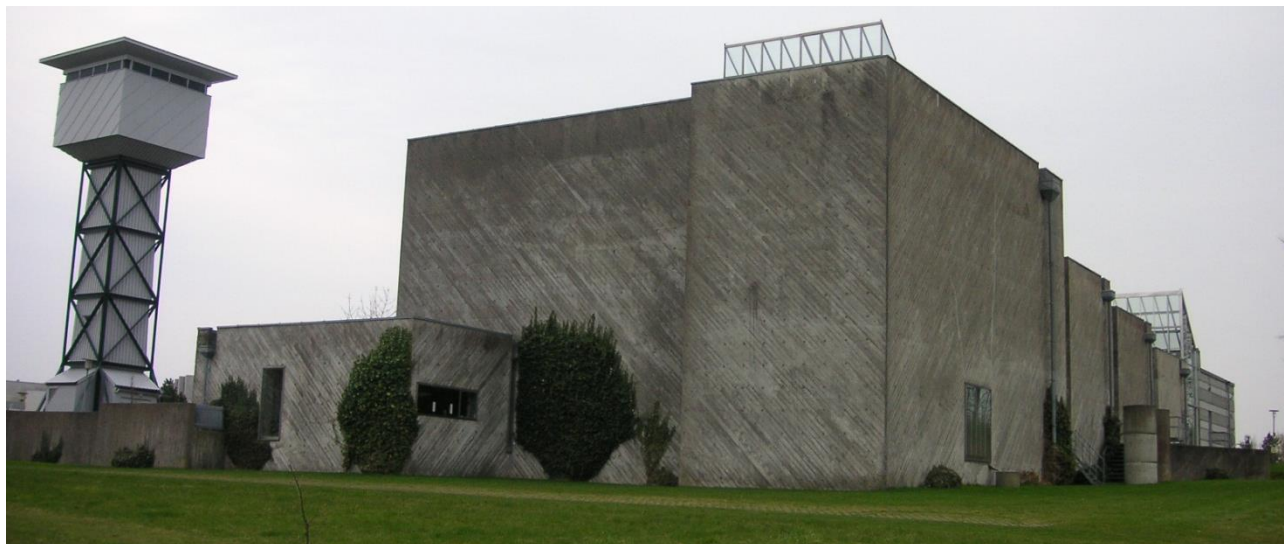
Udover de nævnte detaljer omkring vinduer og udkragninger, vil diverse apteringer på en facade ofte have en betydning for vandets flow nedover en overflade – nogle gange også med udvaskning fra apteringsmaterialet som aflejres og farver betonoverfladen.

1.3.4.2 Overfladekarakter

Betonens overfladekarakter afgør, hvordan vandet på en given flade fordeles og eventuelt opsges.

Som udgangspunkt vil porøsiteten af en betonoverflade have betydning for især begroning, hvor mere porøse og ru overflader har større tendens til at blive begroet end tættere og glatte overflader. Således er eksempelvis slebne betonoverflader nogle af de mest modstandsdygtige betonoverflader overfor begroning.

Dog kan den visuelle ensartethed opfattes anderledes, da en betonoverflade med mange detaljer i form af ruhed, mønstre og relieffer ofte vil bidrage til at sløre opfattelsen af uensartet patinering.



Figur 45. Gug Kirke i Aalborg. Selvom kirken er fra 1972, og derfor nu har modtaget over 40 års patinering, synes denne at være forholdsvis ensartet, primært pga. betonoverfladens grove karakter og skråtstillede bræddestruktur, der har bidraget til ensartet patinering.

1.3.5 Litteratur

- [1] Krokstrand, Ole H., et. al.: Betongoverflater. Gyldendal Norsk Forlag, 1. udgave, 1. oplag 2011
- [2] Andersen, Thomas Juul: Future Nordic Concrete Architecture. Publication: Future Nordic Concrete Architecture, side 11-22, Nordic Innovation, November 2010
- [3] Peck, Martin and Bosold, Diethelm: Surface Aesthetics, Opus C, February 2009
- [4] Andersen, Thomas Juul: Den synlige betonoverflade. Arkitekten nr. 3, 2008 s. 53-55
- [5] Dombernowsky, Per og Christiansen, Karl: Unikabeton Arkitekturredegørelse. Arkitektskolen Aarhus, maj 2007
- [6] Hansen, Tommy Bæk: Designets betydning for betonoverfladers patinering. Synligbeton.dk, 2007

- [7] Andersen, Thomas Juul: Visuel ensartethed, Synligbeton.dk, 2007
- [8] Pade, Claus: Grundmekanismer for betons ældning, Synligbeton.dk, 2007
- [9] Lundgaard, Boje, et. al.: Betonfacader. Dahl, Torben (red), Facaden – teori og praksis. Kunstakademiets Forlag, 2003.
- [10] Rotne, Georg: Skulpturelle grundstrukturer i præfabrikeret beton. Betonelement-Foreningen, oktober 2002
- [11] Hertzell, Tage: Betongens yta. Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande, Formas, www.formas.se, Fjärde upplagan 2002
- [12] Wedebrunn, Ola: Et mirakelmateriale. Blegvad, Jacob (red), Naturmaterialet i dagligdagen. Betonelement-Foreningen, 1998.

1.3.6 Fotos

Fra Flickr.com:

Figur 7: <http://www.flickr.com/photos/glicumu/10807387865> v/Mario Scalet,
figur 8: <http://www.flickr.com/photos/marco2001/12257270614> v/Revelateur Studio,
figur 10: <http://www.flickr.com/photos/kycheng/5651963590> v/Kwong Yee Cheng,
figur 11: <http://www.flickr.com/photos/joeshlabotnik/3878026185> v/Peter Dutton,
figur 12: http://www.flickr.com/photos/luke_stearns/2436540343 v/Luke Stearns,
figur 13: <http://www.flickr.com/photos/eggplant/8582075820> v/ Matt Chan and
<http://www.flickr.com/photos/captbrando/3140018630> v/Branden Williams.

Fra Synligbeton.dk:

Figur 14 (tv), 36 (th), 40 (th), 42 (tv): Tommy Bæk Hansen,
figur 14 (th), 27, 40 (tv), 43 (tv): Karl Christiansen,
figur 16, 30, 31, 36 (midt), 43 (th), 45: Hans Bruun Nissen,
figur 21, 32: Anette Juul Andersen,
figur 22 (th): Entasis,
figur 24: PERI,
figur 36 (tv): Søren Hansen,
figur 41: Mette Seiding.

Figur 38: Teknologisk Institut v/ Johannes Rauff Greisen

Alle øvrige figurer: Teknologisk Institut v/ Thomas Juul Andersen